

Uso da Técnica de Análise de Flutuações Depuradas de Tendências para Análise de Curvas de Luz de Sistemas Binários de Raios-X

Tamara da Silva Santos¹; Marildo Geraldête Pereira²

1. Bolsista PIBIC-Af/CNPq, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: tamarassantos.016@gmail.com
2. Orientador, Departamento Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marildogp@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Estelar Binário, Fotometria, Variabilidade

INTRODUÇÃO

Estrelas variáveis são objetos interessantes, sob o ponto de vista astrofísico, tendo em vista que a variabilidade nos permite extrair informações sobre os processos físicos que ocorrem no sistema e as suas condições físicas. Pulsações radiais informam sobre as condições de pressão e densidade no interior da estrela; flares e flickering informam sobre atividades em discos de acréscimos, bursts informam sobre acréscimo dos objetos compactos tais como buracos negros, estrelas de nêutrons e anãs brancas. A informação sobre estes fenômenos vem na forma de séries temporais, as quais descrevem como varia o brilho da fonte em função do tempo.

Usualmente, em termos de análise de séries temporais astrofísicas, a extração de informações provenientes de curvas de luz é feita utilizando métodos espectrais tais como transformada de Fourier e Wavelet e análise de densidade de espectro. Métodos não espectrais, os quais operam no espaço do tempo tais como PDM e Correlação Cruzada também são empregados, mas com menos intensidade.

Um caso especial para atacar processos estocásticos e caóticos em análise de séries temporais é o método chamado de Análise de Flutuações Depuradas de Tendências (mais comumente conhecido do inglês DFA – Detrend Fluctuation Analysis). Este método é utilizado para determinar a auto-afinidade estatística de um sinal, sendo útil para a análise de séries temporais que aparentam possuir estruturas com memória de longo alcance (por exemplo, lei de potência de função de autocorrelação decrescente) ou ruído do tipo $1/f$.

Neste tipo de análise, é obtido um expoente que vai fornecer a medida do quanto a série possui memória de escala (para acessar o código <http://physionet.org/physiotools/dfa/>). Este método foi introduzido por Peng et al. (1994) e tem mostrado aplicações em várias campos do conhecimento. Dentre as aplicações do método DFA, aparecem as realizadas usando séries temporais de fontes astrofísicas, como por exemplo as curvas de luz obtidas com o instrumento *All Sky Monitor* (ASM) do satélite Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE), de sistemas binários de raios-X (Moret et al., 2003) e fontes emissoras de radiação X de uma forma geral (Moret et al., 2010). O devido projeto de pesquisa tem como objetivo Estudar variabilidade estelar, realizando Análise de Dados com o DFA, pois Estabelecimento de Padrões de Correlação Física, sendo possível a Caracterização das Variabilidade com o Desenvolvimento de Ferramentas Computacionais.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA

Os dados utilizados neste trabalho são curvas de variabilidade em raios-X de fontes astrofísicas (<http://xte.mit.edu/asmlc/ASM.html>) e (<http://heastro.phys.lsu.edu/gbm/>), em particular sistemas binários de raios-X. São apresentados na forma de uma série temporal mostrando como o fluxo em raios-X varia com o tempo. O passo seguinte é utilizar o código DFA, o qual permite a obtenção da Função de Correlação como função das dimensões das escalas temporais de variabilidade em um gráfico log-log. A análise deste gráfico permite a obtenção do coeficiente de correlação de longo alcance (α), caso a série temporal possa ser descrita por uma lei de potência. Isto é feito por meio de um ajuste de mínimos quadrados nos componentes lineares do gráfico. Os objetos serão classificados pelo grau de correlação e propriedades comuns de forma a se construir um diagrama para identificação de eventuais propriedades comuns.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO

De um total de 250 fontes foram analisados setenta. A curva de luz e o gráfico da análise DFA da fonte Cir X-1 (**Fig.1**) ilustram o conjunto das fontes analisadas, mostrando mais de um coeficiente de correlação (α_1, α_2 e α_3). A análise mostrou doze casos descritos por único coeficiente α_1 , vinte e sete casos tendo duas escalas de correlação α_1 e α_2 e sete casos com três componentes. A síntese dos resultados das setenta fontes é apresentada na **Tab.3**.

Com base na análise comportamental da curva de luz do RXTE, fomos a procura de fontes já trabalhada do RXTE de forma a fazermos uma comparação utilizando também a análise DFA. Utilizou-se desta forma o banco de dados do Satélite Fermi, sendo utilizadas as curvas de luz nas bandas de energia (12-25), (25-50) e (100-300). As curvas de luz e a análise DFA de CIR X-1 em cada banda de energia do FERMI, para exemplificar são apresentadas nas **Fig. 2-3**. Análise desta mesma natureza está sendo realizada com outras fontes.

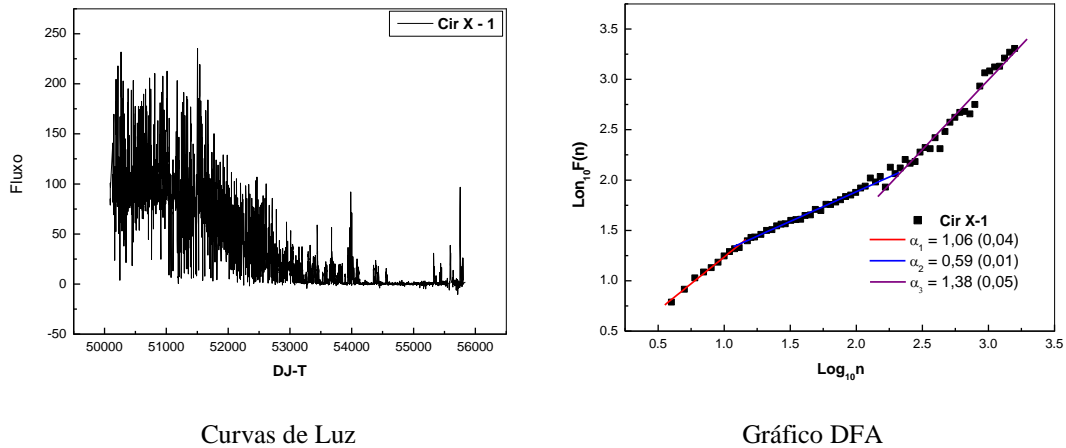
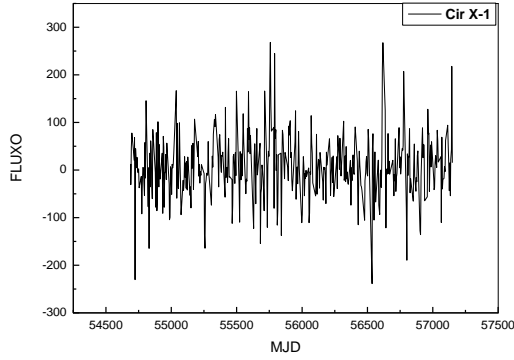


Figura 1: Gráficos mostrando o comportamento da variabilidade temporal e o respectivo gráfico DFA do sistema binário de raios-X do RXTE Circinus X-1.



Curvas de Luz

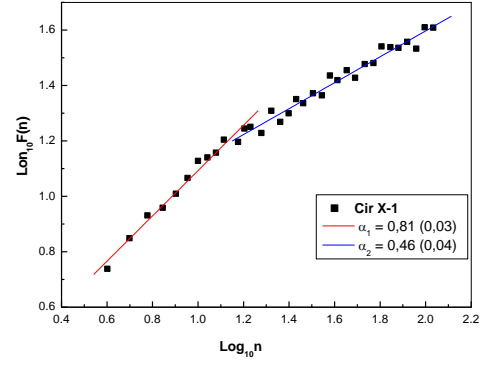
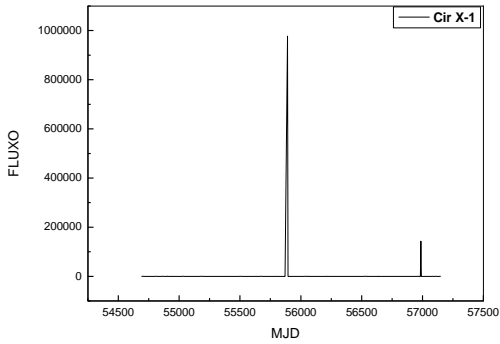


Gráfico DFA

Figura 2: Gráficos mostrando o comportamento da variabilidade temporal e o respectivo gráfico DFA do sistema binário de raios-X do Fermi GBM Circinus X-1, (12-25keV).



Curvas de Luz

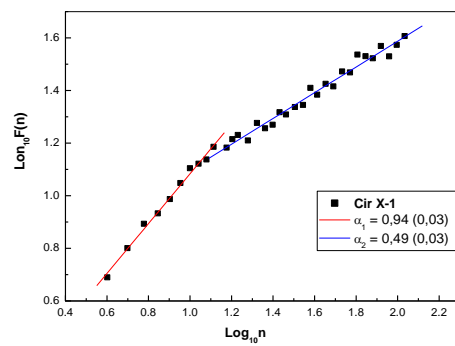


Gráfico DFA

Figura 3: Gráficos mostrando o comportamento da variabilidade temporal e o respectivo gráfico DFA do sistema binário de raios-X do Fermi GBM Circinus X-1 (25-50keV).

Tabela 1: Coeficiente de Correlação de sistemas Binários de Raios-X RXTE e FERMI

Curvas de Luz	Nº de Pontos	α_1	α_2	α_3
Cir X- 1	4913	1,06	0,60	1,38
Cir X- 1(12-25)	443	0,81	0,46	-----
Cir X- 1(25-50)	443	0,94	0,49	-----
Cir X- 1(50-100)	443	0,95	0,49	-----
Cir X- 1(100-300)	443	0,99	0,33	-----

Tabela 2: Algumas fontes que apresentaram um coeficiente de correlação (α_1) do Sistemas Binários de Raios-X do RXTE.

Tabela 3: Fontes que possui mais de um coeficiente de correlação (α_1 , α_2 e α_3) do Sistemas Binários de Raios-X do RXTE.

Tabela 2.

Curvas de Luz	α_1
Cen X-4	0,51
Cep X- 4	0,67
LMC X-3	0,50
Sco X-1	0,72
SMC X-2	0,48
SMC X-3	0,46
Cyg X-3	1,14
SS 433	0,63
GX 1+4	0,69
<u>GX 1-1</u>	0,53

Tabela 3.

Curvas de Luz	α_1	α_2	α_3
Aql X-1	0,67	1,48	----
Cen X-3	0,74	1,17	0,64
Cir X- 1	1,06	0,60	1,38
LMC X-2	0,74	1,20	0,50
LMC X-4	0,72	0,34	----
Ser X-1	0,72	1,63	----
SMC X-1	0,67	1,12	0,23
Cyg X-1	1,50	1,21	0,93
Cyg X- 2	1,13	0,48	----
Her X-1	1,15	0,31	1,23

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto, objetivando revisitar as curvas de luz de fontes astrofísicas observadas pelo Satélite de Raios-X RXTE e FERMI, em uma análise de Correlação de Longo Alcance DFA, em uma escala de tempo maior do que as realizadas nos trabalhos de Moret et al. (2003) e Moret et al. (2010). Estes dois trabalhos levaram ao resultado de existência de uma lei universal associada com as fontes de raios-X, indicando um comportamento de Lei de Potência. Entretanto, este trabalho estudou 46 sistemas binários de raios-X, dos quais somente doze mantiveram o comportamento de Lei de Potência, indicando um comportamento de auto afinidade temporal ao longo da escala de tempo de observação (~16 anos). As restantes 34 fontes forneceram um resultando diferente do anterior, apresentando mais do que um componente de auto afinidade temporal. No estudo de Bhatraju & Das (2014), este comportamento em séries simuladas de estrelas pulsantes foi estudado por intermédio do método de DFA Multifractal, no qual, juntamente com a evidência de correlação de longo alcance, também dá indícios da existência de caos. A ocorrência de caos já havia sido proposta em séries temporais reais de estrelas pulsantes em Buchler, Kolláth & Cadmus Jr. (2004). A análise do comportamento espectral+DFA utilizando dados RXTE e FERMI, não permitiu uma conclusão sobre a existência de uma relação funcional entre os α_1 e α_2 e a energia emitida pela fonte Cir X-1, entretanto este tipo de análise parece ser promissor para fontes com dados de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS

- Bhatraju, N. K. & Das, M. K., *Astrophysics and Space Science*, 352(1), 83-94, 2014.
Buchler, J.R.; Kolláth, Z. & Cadmus Jr., R.R., *The Astrophysical Journal*, 613, 532-547, 2004.
 Liu, L. & Hu, F., *Astrophysics and Space Science*, 317, 193-199, 2008
 Moret, M.A. et al, *Physica A*, 389(4), 854-858, 2010.
 Moret, M.A. et al, , *Physics Review*, 68, 041104, 2003.
 Peng, C.K. et al, *Physics Review*, 49, 1685-1689, 1994.

<<http://physionet.org/physiotools/dfa/>>. Acesso em: 01 Agost.2015